

I. 40 空気マイクロメータの整流作用 (第3報)

萩 原 辰 弥

The Rectifying Action of a Pneumatic Micrometer

Tatsuya HAGIWARA

SYNOPSIS

The rectifying characteristics of a pneumatic micrometer, $f_p = -\frac{\Delta p}{a}$, is calculated by the equations derived in the first report. The f_p is affected by a throttle diameter d_e , a setting point h_i and an amplitude a , when the pressure of air source and the nozzle geometry are held same. From calculated results, however, influence of a nozzle on f_p is very small compared with that of d_e . The optimum values of d_e and apparent clearances are discussed.

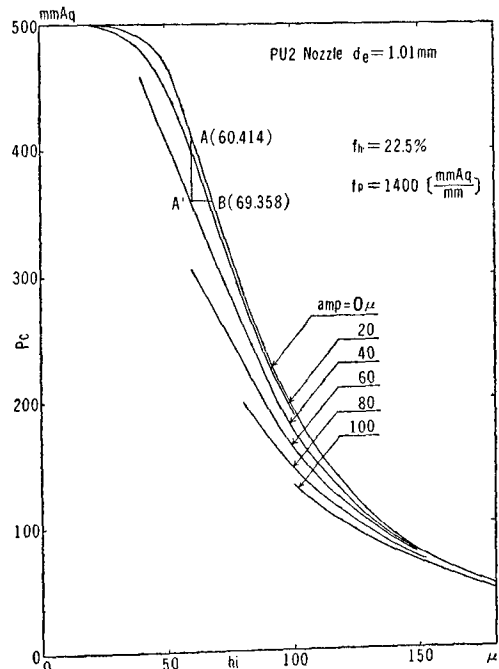
1 緒 言

空気マイクロメータの測定ノズル部の間隙が振動したときの系内の圧力の応答は第1報¹⁾で理論的に解析され、そこで導かれた理論式は第2報²⁾で広い範囲にわたって適用できることが実験によつて確かめられた。平均指示圧力の変化する量 Δp はノズルの寸法、内部絞りの相当径 d_e 、空気源圧力 p_0 、振動の初期間隙 h_i および被測定振巾 a によつて変る。

第3報は一般に精密測定に用いられるような低圧型空気マイクロメータの整流作用すなわち Δp が上記の諸元によつてどのような影響を受けるかを前報で導いた理論式による計算で求めた。また Δp によつておきる見掛けの間隙のずれについての計算が行われた。ここで p_0 は常に水柱 500 mm (ゲージ) に保たれた。後でわかるようにノズルの寸法による整流作用の差は著しくないのでPU2ノズル(ノズル寸法は第3表参照)だけが対象とされた。

2 特性曲線の変化

第1報で述べたように $\tau\omega$ が大きくなると平均指示圧力 p_v はほとんど収斂圧力 p_c とひとしくなり、初期間隙 h_i に対応する圧力 p_i との間に $\Delta p = p_i - p_c$ だけの差が生じる。第1図に d_e が 1.01 mm のときの h_i と p_c との関係を示す。振巾 a が 0 のときの曲線は静特性曲線と一致するが振巾が大きくなると特性曲線は図のように次第にその位置がずれた曲線群であらわさ



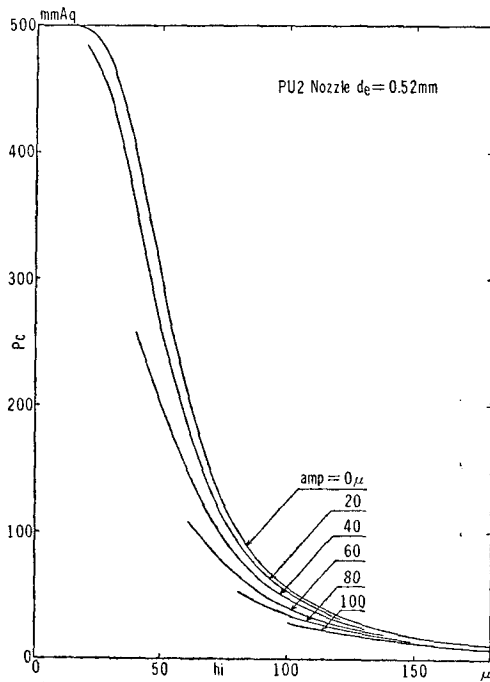
第1図

れる。

たとえば初めに振動のない状態でA点($h=60\mu$, $p=414$ mmAq)に設置した後に間隙を 40μ の振巾で振動させたとする。このとき平均指示圧 p_v はA'点

($h=60\mu$, $p=358\text{ mm Aq}$) に相当するよみが得られる。いま振動の存在を無視して p_v に対応する間隙の値を静特性曲線 ($a=0$ の曲線) からよみとると B 点 ($h=69\mu$, $p=358\text{ mm Aq}$) に相当する値が得られる。この値が見掛けの間隙値 h_e であつて、 h_i とのずれ Δh は A'B となる。図に示した PU2 ノズル, $d_e=1.01\text{ mm}$, $a=40\mu$ の場合は $\Delta p=56\text{ mm Aq}$ および $\Delta h=9\mu$ となる。

このように間隙が振動すると整流作用のため特性曲線が変化する。その様子は装置の寸法によつてちがう。第 2 図は PU2 ノズル, $d_e=0.52\text{ mm}$ の場合である。



第 2 図

 第 1 表 最大感度の減少 (%)
(PU2 ノズル, $p_0=500\text{ mm Aq}$)

d_e (mm)	$1/2$	1	2
振巾 (μ)			
20	13.4	5.4	1.0
40	35.0	14.5	3.6

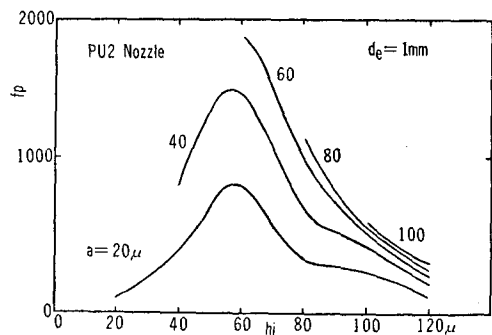
d_e が大きくなると特性曲線のずれは僅かになる。

寸法測定を行う場合間隙を設置するときに初めから振動が加わつていれば上のような見掛けの間隙のずれはおきないが、特性曲線はその振巾に相当してずれる。したがつて振動しながら平均間隙が変つた場合の感度は静特性の感度とちがつた値になる。PU2 ノズ

ル $p_0=500\text{ mm Aq}$ のときの最大感度の変化を第 1 表に示す。感度は常に減少する。静特性の最大感度は第 4 表に示されている。寸法測定を行う場合上記の 2 つの点に留意しなければならない。

3 整流特性

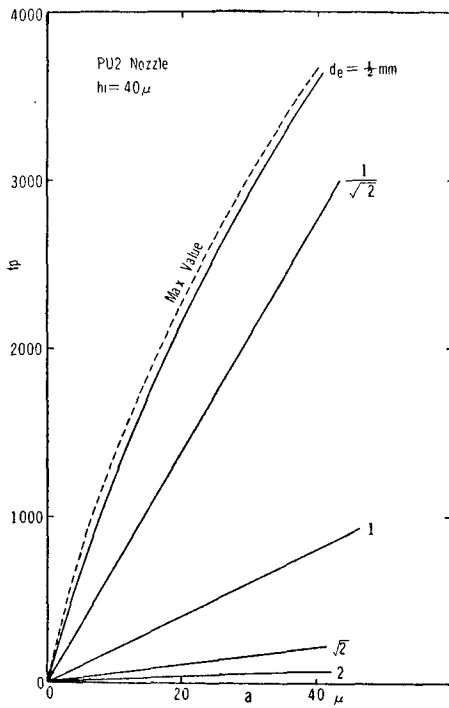
整流作用の特性を表すには振巾 a に対する平均指示圧力の変化 Δp の比を用いる。この比を f_p とすると $f_p = \Delta p/a$ であつて変換倍率である。 f_p の次元は圧力を水柱ミリで表わすと $\left[\frac{\text{mm Aq}}{\text{mm}}\right]$ となるが、水柱マノメータで測定する限り圧力は水面の変化ミリでよみとられるので f_p は無次元量として取扱われる。前報でのべたように p_0 とノズルが同じならば Δp は d_e , h_i および a によつて変る。そこで $p_0=500\text{ mm Aq}$ および PU2 ノズルの場合 $a=20\sim 100\mu$, $d_e=1/2\sim 2\text{ mm}$ の範囲でいろいろの h_i について Δp が計算によつて求められた。第 3 図は $d_e=1\text{ mm}$ としたときの h_i の



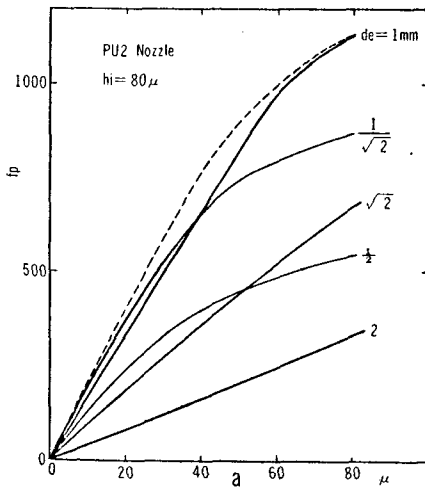
第 3 図

影響を示す。振巾が小さい間は f_p を極大にする h_i の値が存在する。この h_i の値は振巾によつてはほとんど変らない。 d_e が小さいと最大感度と f_p 極大の間隙値は前者の方が大きいが d_e が大きくなるとこの関係が逆になる。整流作用は p_e の計算式で明らかのように非線性が関与しているので $p-h$ がほぼ直線的な関係にある範囲でも Δp の値はかなり大きいことに注目しなければならない。図で f_p の減少の割合が単純でないのもこの非線性の影響である。振巾が大きくなると $a=h_i$ のところで f_p が最大となる。

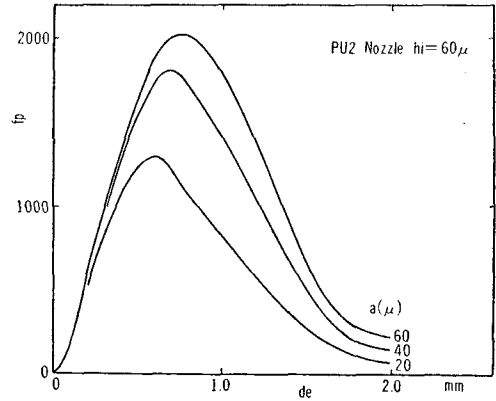
第 4 図は $h_i=40\mu$ のときの振巾 a の影響を示す。 h_i が小さいと f_p はほぼ a に比例する。すなわち Δp は a^2 に比例する。また d_e が小さいほど f_p が大きくなるが d_e をどうかえても破線で示す値を超えない。第 5 図は h_i が大きい場合であつて d_e が小さいと f_p と a とは比例しなくなる。さらに f_p を大きくする d_e



第4図



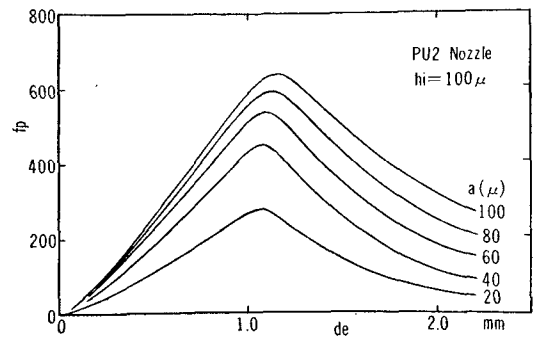
第5図



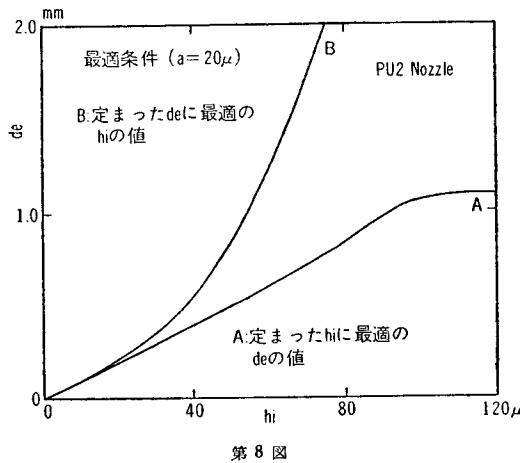
第6図

の値は大きくなる。しかしこの場合も破線の値以上に f_p を大きくすることはできない。それで h_i と a に対して f_p を極大にする d_e の値が存在することがわかる。その関係は第6・7図で明らかである。第6図は h_i が比較的小さい場合であつて f_p を極大にする d_e の最適値 $(d_e)_{\max}$ は振巾が変つてもほぼ同じ値である。とくに第7図のように h_i が大きくなると f_p は小さくなるが $(d_e)_{\max}$ は広い範囲の振巾に対してほとんど同じ値となる。この性質は同一の装置で広い範囲の振巾を $f_{p\max}$ に近い倍率で変換できるのできわめて好都合である。

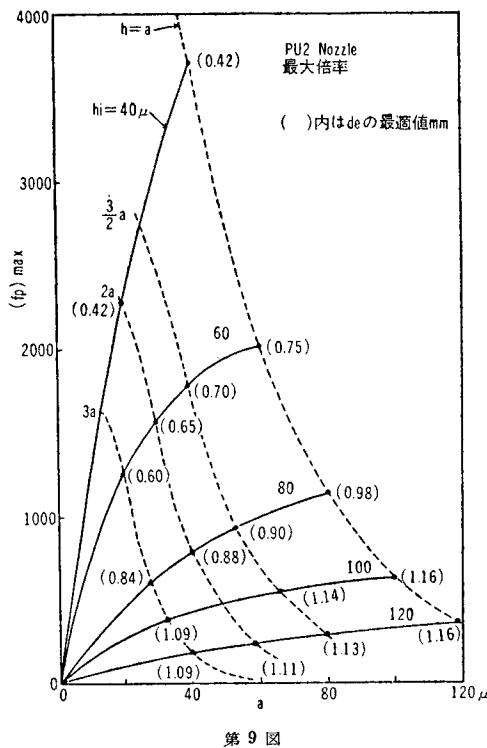
f_p は振巾が小さいほど小さくなるので d_e を選ぶときは小さい振巾を対象にすることが望ましい。たとえば $a=20\mu$ を基準として $(d_e)_{\max}$ をきめると第8図のA線のようになる。 h_i が 100μ 以下のときは $d_e=10.5h_i$ とすればよい。あるきまつた d_e に対して最適な h_i の値は同図のB線から求められる。この値は前に述べたように振巾によつてほとんど変わらないが d_e をさきにきめてから h_i を選ぶのは一般的でない。



第7図



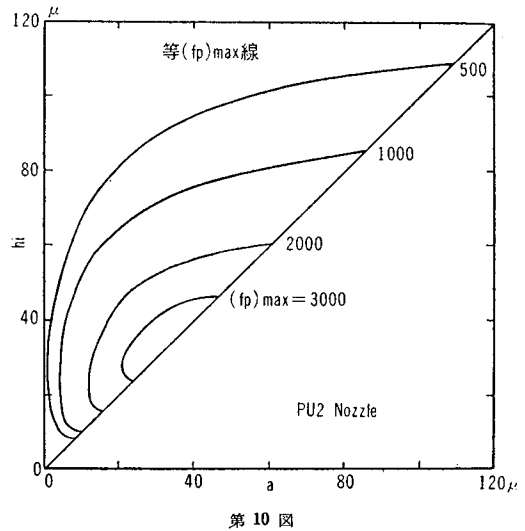
第 8 図



第 9 図

h_i をパラメータとして $(fp)_{\max}$ を振巾に対して図示すると第 9 図のようになる。このときの d_e の値はおのおのの a と h_i との組合せに対して最適の値を用いている。その $(d_e)_{\max}$ の値は図中の括弧内にミリで示されている。図から明らかなように振巾が 30μ 以上では $a=h_i$ となつたときに $(fp)_{\max}$ は最も大きくなる。 $a>h_i$ とすることはノズルと振動板とが衝突するので当然実現不可能となるが、元来振巾というものは初めから明確に知られていないので $a=h_i$ にする

ことも実際には行われぬ。そこで予想される振巾の $\frac{1}{2}$ の余裕をもたせて $h_i = \frac{3}{2}a$ 位に選ぶ必要がある。そのときの $(fp)_{\max}$ の値は図中 $\frac{3}{2}a$ と標記された破線のようになる。もちろん余裕のとり方は使用目的によつてきめるべきである。



第 10 図

第 10 図は $(fp)_{\max}$ の等倍線を示す。おのおのの閉曲線内の h_i と a との組合せでは標記以上の倍率が得られる。それだから水平線 ($h = \text{一定}$) で閉曲線が切取られる部分が長いほど広い範囲の振巾が同一の h_i でその倍率以上で変換されることになる。 d_e はもちろんその都度最適値にえらばなければならない。高い倍率

第 2 表 振巾範囲が最大となる条件とその値

(PU2 ノズル, $p^0=500 \text{ mm Aq}$)

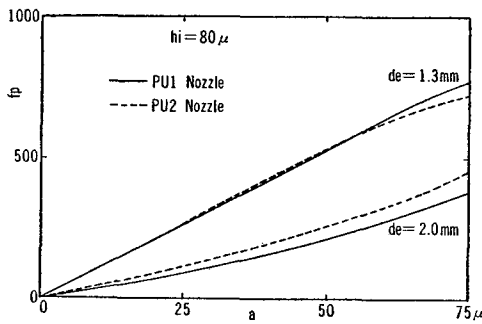
$(fp)_{\max}$	$h_i (\mu)$	範囲 (μ)
3000	38	12
2000	48	25
1000	67	44
500	86	62

を望めば当然変換可能な振巾範囲がへる。範囲の振巾上限は常に h_i であるが振巾下限が大きくなる。図から $h_i=70 \mu$ のとき、 $10 \sim 70 \mu$ の範囲の振巾が 500 倍以上に変換できることがわかる。その範囲は 60μ である。この範囲が最大になるような h_i をおのおのの倍率について求めると第 2 表のようになる。たとえば h_i を 48μ とすると 23μ から 48μ までの振巾が d_e を

適当に変えるだけで2000倍以上で変換できる。

4 ノズル寸法と非線性について

以上はPU2ノズルを対象として計算されたが寸法のちがうPU1ノズルの場合と比較した結果が第11図に示されている。ノズルの寸法は第3表のとおりである。図から明らかなように両者には若干の差が認められるがその値は小さい。この程度の差は d_e を僅かに変えるだけで補なわれるので極端な寸法のノズルを使用しない限りノズル寸法に関してとくに留意する必要はない。



第11図

第3表 ノズルの寸法

ノズル記号	外径(mm)	内径(mm)	径比	内角丸み(mm)
PU1	9.99	4.72	2.12	0.30
PU2	9.99	3.68	2.71	0.30

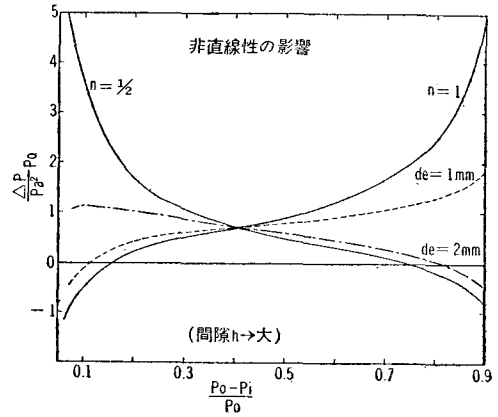
また収斂圧力 p_c を求める式は第1報でのべたように

$$\frac{\sqrt{p_0 - p_c}}{p_c^n} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sqrt{p_0 - p_s}}{p_s^n} d\theta$$

(p_s は静かに間隙を $h_i + a \sin \theta$ に従って変えた場合の系内の圧力および n はノズル流量特性を表わす指数である。)であるから $p-h$ 静特性が直線的な関係にあつても p_c と p_s の平均値とはちがつた値となる。その差は圧力振巾を p_a とすると第1報(37)式によつて

$$\Delta p \div \frac{4n(n+1)(p_0 - p_i)^2 - p_i^2}{8p_i(p_0 - p_i)\{2n(p_0 - p_i) + p_i\}} (p_a)^2$$

となる。横軸に $\frac{p_0 - p_i}{p_0}$ を、縦軸に $\frac{\Delta p \cdot p_0}{p_a^2}$ をとつて $n=1/2$ と $n=1$ の場合を計算すると第12図のようになる。任意の n の値に対してはこの間を第1報で述べた方法に従つて配分すればよい。たとえばPU2ノズ



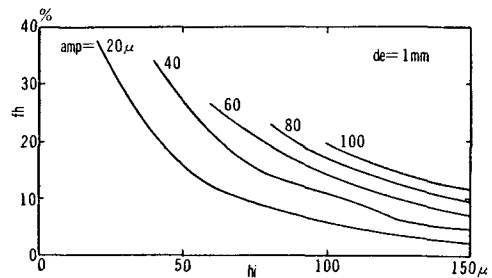
第12図

ルを用いたとき、 $d_e=1\text{ mm}$ の場合を破線で、 $d_e=2\text{ mm}$ の場合を鎖線で示す。直線部分の感度を S とすると p_a は aS であるから Δp は aS の2乗に比例し Δh は $a^2 S$ に比例する。

非線性の影響がどの程度であることを示す例としてPU2ノズルで $p_i = \frac{3}{4} p_0$ および $a=20\text{ }\mu\text{m}$ をとると全体の Δp は 14 mm Aq となり上記の式で計算すると Δp は 12 mm Aq となる。この 2 mm Aq の差は $p-h$ の関係が $\pm 20\text{ }\mu\text{m}$ の間で厳密に比例しないためである。この場合は大部分が非線性の効果によつていことがわかる。この効果が著しくあらわれる場合は f_p-h_i 曲線に変曲点が現われる。

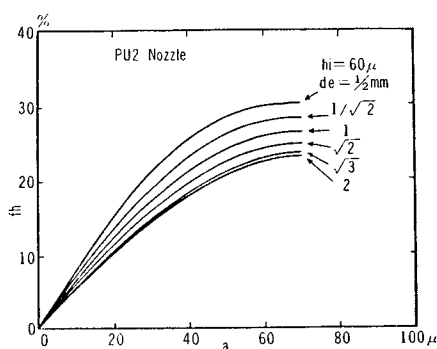
5 見掛けの間隙のずれ

前に述べた Δh が d_e 、 h_i および a によつてどのように変るかが Δp の場合と同様計算によつて求められる。第13図は d_e を一定に保つたときの h_i の影響を示す。縦座標には $f_h = \frac{\Delta h}{a} \times 100\%$ がとつてある。振巾が大きいほど f_h も大きくなる。また h_i が大き

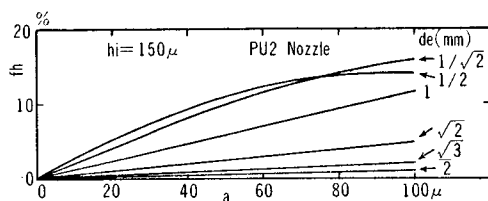


第13図

いほど f_h は小さくなる。しかし振巾がごく小さいときは h_i のある値で f_h は極大になる。 h_i を 60μ としたときの a の影響を示した第 14 図から a が小さいときは f_h は a にほぼ比例していることがわかる。しかし a が h_i に近くなると f_h の増加の割合は小さくなる。 h_i が小さければ d_e が小さい値の方が f_h が大きくなるが h_i が大きくなると f_h を極大にする d_e の値は大きくなる。このことは第 15 図を見れば明らかである。いずれの場合でも f_h を極大にする d_e の値があるが d_e による f_h の差は余り大きくない。これは感度 S は d_e によつて影響されるが前節でのべた通り f_p が S^2 に比例するのに反して f_h は S に比例するにとどまるからである。空気マイクロメータでの寸法測定は最大感度の点を中心とした範囲が利用されるの



第 14 図



第 15 図

 第 4 表 見掛けの間隙のずれ
(PU2 ノズル, p_0 500 mm Aq の場合)

d_e (mm)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1	$\sqrt{2}$	2
S_{max}	9820	8580	6400	3750	2360
h_{max} (μ)	35	50	70	96	128
Δh (μ)					
$a=20\mu$	4.6	3.4	2.0	1.0	0.2
$a=40\mu$	13.8*	11.2	6.8	3.2	0.8

* $h_i=40\mu$ とした

で h_i をこの点 h_{max} に選んだときの Δh を示すと第 4 表のようになる。 a が 20μ 以下のときは Δh はほぼ a^2 に比例する。

6 結 言

空気マイクロメータが整流作用を行うということには 2 つの意味がある。第 1 の意味は間隙の振動の振巾に対応して平均指示圧力が変化するので空気マイクロメータが振巾—圧力変換器あるいは振巾測定器として利用されることである。第 2 の意味は寸法精密測定のために間隙が振動していると特性曲線のずれあるいは見掛けの間隙のずれを生ずることであつてこれは好ましくない現象である。

前者の特性値 f_p は d_e の影響が大きいので変換倍率を内部絞りで制御するのが便利である。 h_i を適当に選んでこれに最も適した d_e の値をきめることができる。この d_e の値は広い範囲の振巾に対して適用できることが確かめられたがこの性質は極めて好都合である。計算の結果 100μ 以下の h_i に対しては

$d_e=10.5 h_i$ にとればよいことが明らかにされた。ノズルの寸法は極端なものでない限り余り問題にならない。

後者の特性値 f_h に及ぼす d_e , h_i および a の影響が計算によつて求められた。 f_h は a によつて大きく変化する。また h_i が大きくなれば f_h は小さくなるが h_i があまり大きいと感度がわるくなるので h_i によつて f_h を制限することはできない。 d_e は余り影響しない。見掛けの間隙のずれについては従来見過されてきたおそれがある。とくに直線部分でも Δh のずれがおこること、あるいは感度が変化することが明らかにされたので精密測定には振動の問題を十分考慮しなければならない。振動を伴う現場での測定または自動定寸装置への応用などのときにこの問題がおきる。

以上述べた整流作用は全波整流作用を行わせること高圧型あるいは真空型の装置に応用することなどによつてさらにその変換倍率を向上させることが可能である。

終りにこの一連の研究に対して実験と資料の整理に協力された上村正治君に心から感謝する。また本研究の一部は本学工学研究所費によつて行われた。

参 考 文 献

- 1) 明治大学工学部研究報告第 14 号 (1960) p. 52
- 2) 明治大学工学部研究報告第 14 号 (1960) p. 67